

## CATALYST COMPRISING A METAL COMPLEX OF THE VIII SUBGROUP BASED ON A PHOSPHINE AMIDITE LIGAND AND ITS UTILIZATION FOR HYDROFORMYLATION AND HYDROCYANATION

**Patent number:** WO0056451  
**Publication date:** 2000-09-28  
**Inventor:** AHLERS WOLFGANG [DE]; MAAS HEIKO [DE]; ROEPPER MICHAEL [DE]  
**Applicant:** BASF AG [DE]; AHLERS WOLFGANG [DE]; MAAS HEIKO [DE]; ROEPPER MICHAEL [DE]  
**Classification:**  
- **international:** B01J31/18; C07C45/50  
- **european:** B01J31/18C; C07C45/50; C07C253/10; C07C253/30; C07F9/6571L6  
**Application number:** WO2000EP02610 20000323  
**Priority number(s):** DE19991013352 19990324

**Also published as:**

EP1163051 (A1)  
 US6852661 (B1)  
 DE19913352 (A1)  
 EP1163051 (B1)

**Cited documents:**

US5710344  
 WO9616923  
 US5874639  
 US5360938  
 XP000916636

**Abstract of WO0056451**

The invention relates to a catalyst comprising at least one metal complex of the VIII subgroup, which includes at least one monodentate, bidentate or polydentate phosphine amidite ligand of general formula I.1, I.2 and/or I.3, wherein A<1>, together with the phosphorus and the oxygen atoms to which it is bonded, represents a five to eight-membered heterocycle; X<1> represents a five to eight-membered heterocycle having at least one nitrogen atom directly bonded to the phosphorous atom and B represents either a carbon-carbon single bond or a bivalent bridging group. The invention also relates to a method for hydroformylation and hydrocyanation of compounds containing at least one ethylinically unsaturated double bond in the presence of said catalyst.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

**BEST AVAILABLE COPY**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(4)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> : <b>B01J 31/18, C07C 45/50</b>		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 00/56451</b>  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: <b>28. September 2000 (28.09.00)</b>
(21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/EP00/02610</b>		(81) Bestimmungsstaaten: CN, JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(22) Internationales Anmeldedatum: <b>23. März 2000 (23.03.00)</b>		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	
(30) Prioritätsdaten: <b>199 13 352.2 24. März 1999 (24.03.99) DE</b>			
(71) Anmelder ( <i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i> ): <b>BASF AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; D-67056 Ludwigshafen (DE).</b>			
(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder ( <i>nur für US</i> ): <b>AHLERS, Wolfgang [DE/DE]; Brauereistrasse 3, D-67549 Worms (DE). MAAS, Heiko [DE/DE]; Anton-Bruckner-Strasse 10, D-67105 Schifferstadt (DE). RÖPER, Michael [DE/DE]; Pegauer Strasse 10, D-67157 Wachenheim (DE).</b>			
(74) Anwälte: <b>KINZEBACH, Werner usw.; Reitstötter, Kinzebach &amp; Partner, Sternwartstrasse 4, D-81679 München (DE).</b>			
(54) Title: <b>CATALYST COMPRISING A METAL COMPLEX OF THE VIII SUBGROUP BASED ON A PHOSPHINE AMIDITE LIGAND AND ITS UTILIZATION FOR HYDROFORMYLATION AND HYDROCYANATION</b>			
(54) Bezeichnung: <b>KATALYSATOR, UMFASSEND EINEN KOMPLEX EINES METALLS DER VIII. NEBENGRUPPE AUF BASIS EINES PHOSPHINAMIDITLIGANDEN; SEINE VERWENDUNG ZUR HYDROFORMYLIERUNG UND HYDROCYANIERUNG</b>			
(57) Abstract			
The invention relates to a catalyst comprising at least one metal complex of the VIII subgroup, which includes at least one monodentate, bidentate or polydentate phosphine amidite ligand of general formula I.1, I.2 and/or I.3, wherein A <sup>1</sup> , together with the phosphorus and the oxygen atoms to which it is bonded, represents a five to eight-membered heterocycle; X <sup>1</sup> represents a five to eight-membered heterocycle having at least one nitrogen atom directly bonded to the phosphorous atom and B represents either a carbon-carbon single bond or a bivalent bridging group. The invention also relates to a method for hydroformylation and hydrocyanation of compounds containing at least one ethylenically unsaturated double bond in the presence of said catalyst.			
(57) Zusammenfassung			
Die Erfindung betrifft einen Katalysator, der wenigstens einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe umfasst, welcher mindestens einen ein-, zwei- oder mehrzähligen Phosphinamiditliganden der allgemeinen Formel I.1, I.2 und/oder I.3 umfasst, worin A <sup>1</sup> zusammen mit dem Phosphor- und dem Sauerstoffatom, an die es gebunden ist, für einen 5- bis 8-gliedrigen Heterocyclus steht; X <sup>1</sup> für einen 5- bis 8-gliedrigen Heterocyclus steht, der wenigstens ein Stickstoffatom aufweist, welches direkt an das Phosphoratom gebunden ist; B entweder für eine Kohlenstoff-Kohlenstoff-Einfachbindung oder für eine zweiwertige verbrückende Gruppe steht. Die Erfindung betrifft ebenfalls Verfahren zur Hydroformylierung und Hydrocyanierung von Verbindungen, die wenigstens eine ethylenisch ungesättigte Doppelbindung enthalten, in Gegenwart eines solchen Katalysators.			

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korska	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

KATALYSATOR, UMFASSEND EINEN KOMPLEX EINES METALLS DER VIII. NEBENGRUPPE AUF BASIS EINES PHOSPHINAMIDITLIGANDEN; SEINE VERWENDUNG ZUR HYDROFORMYLIERUNG UND HYDROCYANIERUNG

5 Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Katalysator, der wenigstens einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe umfasst, welcher mindestens einen ein-, zwei- oder mehrzähligen Phosphin-  
10 amiditliganden umfasst sowie Verfahren zur Hydroformylierung und Hydrocyanierung von Verbindungen, die wenigstens eine ethylenisch ungesättigte Doppelbindung enthalten, in Gegenwart eines solchen Katalysators.

15 Die Hydroformylierung oder Oxo-Synthese ist ein wichtiges großtechnisches Verfahren und dient der Herstellung von Aldehyden aus Olefinen, Kohlenmonoxid und Wasserstoff. Diese Aldehyde können gegebenenfalls im gleichen Arbeitsgang mit Wasserstoff zu den entsprechenden Oxo-Alkoholen hydriert werden. Die Reaktion selbst  
20 ist stark exotherm und läuft im Allgemeinen unter erhöhtem Druck und bei erhöhten Temperaturen in Gegenwart von Katalysatoren ab. Als Katalysatoren werden Co-, Rh-, Ir-, Ru-, Pd- oder Pt-Verbindungen bzw. -komplexe eingesetzt, die zur Aktivitäts- und/oder Selektivitätsbeeinflussung mit N- oder P-haltigen Liganden modifi-  
25 fiziert sein können. Bei der Hydroformylierungsreaktion kommt es aufgrund der möglichen CO-Anlagerung an jedes der beiden C-Atome einer Doppelbindung zur Bildung von Gemischen isomerer Aldehyde. Zusätzlich kann es auch zu einer Doppelbindungsisomerisierung kommen. In diesen isomeren Gemischen ist der n-Aldehyd häufig ge-  
30 genüber dem iso-Aldehyd begünstigt, wobei aufgrund der wesentlich größeren technischen Bedeutung der n-Aldehyde eine Optimierung der Hydroformylierungskatalysatoren zur Erzielung einer größeren n-Selektivität angestrebt wird.

35 In Beller et al., Journal of Molecular Catalysis A, 104 (1995), Seiten 17-85, werden rhodiumhaltige, phosphinmodifizierte Katalysatoren zur Hydroformylierung von niedrig siedenden Olefinen beschrieben. Nachteilig an diesen Katalysatoren ist, dass sie nur unter Einsatz metallorganischer Reagenzien hergestellt werden  
40 können und die eingesetzten Liganden nur aufwendig und kostspielig hergestellt werden können. Zudem lassen sich mit diesen phosphinmodifizierten Katalysatoren interne, geradkettige und verzweigte Olefine sowie Olefine mit mehr als 7 Kohlenstoffatomen nur sehr langsam hydroformylieren.

Die WO 95/30680 beschreibt zweizähnige Phosphinliganden, bei denen die beiden Phosphingruppen an je einen Arylrest gebunden sind und diese beiden Arylreste ein zweifach verbrücktes, ortho-anellierte Ringssystem bilden, wobei eine der beiden Brücken aus einem Sauerstoff- oder einem Schwefelatom besteht. Rhodiumkomplexe auf Basis dieser Liganden eignen sich als Hydroformylierungskatalysatoren, wobei bei der Hydroformylierung endständiger Olefine ein gutes n/iso-Verhältnis erzielt wird. Nachteilig an diesen Chelatphosphinen ist der hohe synthetische Aufwand zu ihrer Herstellung, so dass technische Verfahren, die auf solchen Chelatphosphinkatalysatoren beruhen, wirtschaftlich benachteiligt sind.

Die US-A-4,169,861 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung endständiger Aldehyde durch Hydroformylierung von  $\alpha$ -Olefinen in Gegenwart eines Rhodium-Hydroformylierungskatalysators auf Basis eines zweizähnigen und eines einzähnigen Liganden. Als zweizähniger Ligand wird dabei vorzugsweise 1,1'-Bis(diphenylphosphino)ferrocen eingesetzt. Bei dem einzähnigen Liganden handelt es sich vorzugsweise um Phosphine, wie Diphenylethylphosphin. Die US-A-4,201,714 und US-A-4,193,943 weisen einen vergleichbaren Offenbarungsgehalt auf. Die Herstellung der zweizähnigen Phosphino-ferrocenliganden erfordert den Einsatz metallorganischer Reagenzien, die aufwendig in ihrer Herstellung sind, wodurch Hydroformylierungsverfahren unter Einsatz dieser Katalysatoren wirtschaftlich benachteiligt sind.

Die US-A-5,312,996 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung von 1,6-Hexandial durch Hydroformylierung von Butadien in Gegenwart von Wasserstoff und Kohlenmonoxid. Als Hydroformylierungskatalysatoren werden Rhodiumkomplexe mit Polyphosphitliganden eingesetzt, worin der Phosphor und zwei der Sauerstoffatome der Phosphitgruppe Teil eines 7-gliedrigen Heterocyclus sind.

Die JP-A 97/255 610 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung von Aldehyden durch Hydroformylierung in Gegenwart von Rhodiumkatalysatoren, die einen einzähnigen Phosphonitliganden aufweisen.

Die katalytische Hydrocyanierung zur Herstellung von Nitrilen aus Olefinen besitzt ebenfalls große technische Bedeutung.

In "Applied Homogeneous Catalysis with Organometallic Compounds", Bd. 1, VCH Weinheim, S. 465 ff. wird allgemein die heterogen und homogen katalysierte Addition von Cyanwasserstoff an Olefine beschrieben. Dabei werden vor allem Katalysatoren auf Basis von Phosphin-, Phosphit- und Phosphonit-Komplexen des Nickels und Palladiums verwendet.

C. A. Tolman et al. beschreiben in Organometallics 1984, 3, S. 33 f. die katalytische Hydrocyanierung von Olefinen in Gegenwart von Nickel(0)-Phosphitkomplexen unter spezieller Berücksichtigung der Effekte von Lewis-Säuren auf die Cyanwasserstoffaddition.

5

In Advances in Catalysis, Band 33, 1985, Academic Press Inc., S. 1 f. wird übersichtsartig die homogen Nickel-katalysierte Hydrocyanierung von Olefinen beschrieben. Als Katalysatoren werden Nickel(0)-Komplexe mit Phosphin- und Phosphitliganden eingesetzt.

10

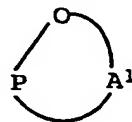
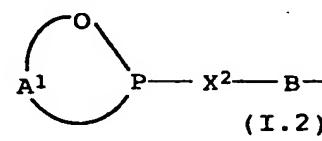
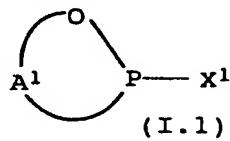
Keine der zuvor genannten Literaturstellen beschreibt Hydroformylierungskatalysatoren oder Hydrocyanierungskatalysatoren auf Basis von ein-, zwei- oder mehrzähligen Phosphinamiditliganden, wobei das Phosphor- und das Sauerstoffatom der Phosphinamiditgruppe 15 Teil eines 5- bis 8-gliedrigen Heterocyclus sind.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, neue Katalysatoren auf Basis von Komplexen eines Metalls der VIII. Nebengruppe zur Verfügung zu stellen. Diese sollen sich vorzugsweise 20 zur Hydroformylierung oder Hydrocyanierung eignen und eine gute katalytische Aktivität aufweisen.

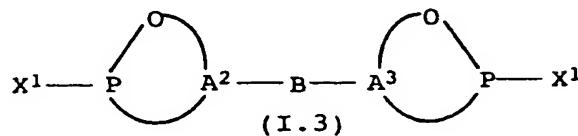
Überraschenderweise wurden nun Katalysatoren auf Basis von Komplexen eines Metalls der VIII. Nebengruppe gefunden, welche mindestens einen ein-, zwei- oder mehrzähligen Phosphinamiditliganden umfassen, wobei das Phosphor- und das Sauerstoffatom der Phosphinamiditgruppe Teil eines 5- bis 8-gliedrigen Heterocyclus sind.

30 Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist somit ein Katalysator, umfassend wenigstens einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe mit mindestens einem ein-, zwei- oder mehrzähligen Phosphinamiditliganden der allgemeinen Formeln I.1, I.2 und/oder I.3

35



40



45

worin

1 A<sup>1</sup> zusammen mit dem Phosphor- und dem Sauerstoffatom, an die es gebunden ist, für einen 5- bis 8-gliedrigen Heterocyclus steht, der gegebenenfalls ein-, zwei- oder dreifach mit Cycloalkyl, Aryl und/oder Hetaryl anelliert ist, wobei die anellierten Gruppen unabhängig voneinander je einen, zwei oder drei Substituenten, ausgewählt unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Nitro, Cyano, Carboxyl und Carboxylat, tragen können,

5 10 A<sup>2</sup> und A<sup>3</sup> unabhängig voneinander für einen Heterocyclus gemäß der für A<sup>1</sup> angegebenen Definition stehen, der durch B substituiert ist,

15 20 X<sup>1</sup> für einen 5- bis 8-gliedrigen Heterocyclus steht, der wenigstens ein Stickstoffatom aufweist, welches direkt an das Phosphoratom gebunden ist, und wobei der Heterocyclus gegebenenfalls zusätzlich ein oder zwei Heteroatom(e), ausgewählt unter N, O und S aufweisen kann und/oder wobei der Heterocyclus gegebenenfalls ein-, zwei- oder dreifach mit Cycloalkyl, Aryl und/oder Hetaryl anelliert ist, wobei der Heterocyclus und/oder die anellierten Gruppen unabhängig voneinander je einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Cycloalkoxy, Aryloxy, Acyl, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Cyano, Carboxyl, Carboxylat, Alkoxy carbonyl oder NE<sup>1</sup>E<sup>2</sup>, tragen können, wobei E<sup>1</sup> und E<sup>2</sup> gleich oder verschieden sein können und für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl stehen,

25 30 X<sup>2</sup> und X<sup>3</sup> unabhängig voneinander für einen Heterocyclus gemäß der für X<sup>1</sup> angegebenen Definition stehen, der durch B substituiert ist,

35 B entweder für eine Kohlenstoff-Kohlenstoff-Einfachbindung oder für eine zweiwertige verbrückende Gruppe steht,

oder Salze und Mischungen davon.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung umfasst der Ausdruck 'Alkyl' 40 geradkettige und verzweigte Alkylgruppen. Vorzugsweise handelt es sich dabei um geradkettige oder verzweigte C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub>-Alkyl-, bevorzugterweise C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub>-Alkyl- und besonders bevorzugt C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>-Alkylgruppen. Beispiele für Alkylgruppen sind insbesondere Methyl, Ethyl, Propyl, Isopropyl, n-Butyl, 2-Butyl, sec.-Butyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, 2-Pentyl, 2-Methylbutyl, 3-Methylbutyl, 1,2-Dimethylpropyl, 1,1-Dimethylpropyl, 2,2-Dimethylpropyl, 1-Ethylpropyl, n-Hexyl, 2-Hexyl, 2-Methylpentyl, 3-Methylpentyl, 4-Methylpentyl, 1,2-Di-

methylbutyl, 1,3-Dimethylbutyl, 2,3-Dimethylbutyl, 1,1-Dimethylbutyl, 2,2-Dimethylbutyl, 3,3-Dimethylbutyl, 1,1,2-Trimethylpropyl, 1,2,2-Trimethylpropyl, 1-Ethylbutyl, 2-Ethylbutyl, 1-Ethyl-2-methylpropyl, n-Heptyl, 2-Heptyl, 3-Heptyl, 2-Ethylpentyl,

5 1-Propylbutyl, Octyl.

Bei der Cycloalkylgruppe handelt es sich vorzugsweise um eine C<sub>5</sub>-C<sub>7</sub>-Cycloalkylgruppe, wie Cyclopentyl, Cyclohexyl oder Cycloheptyl.

10

Wenn die Cycloalkylgruppe substituiert ist, weist sie vorzugsweise 1, 2, 3, 4 oder 5, insbesondere 1, 2 oder 3 Substituenten, ausgewählt unter Alkyl, Alkoxy oder Halogen auf.

15 Aryl steht vorzugsweise für Phenyl, Tolyl, Xylyl, Mesityl, Naphthyl, Anthracenyl, Phenanthrenyl, Naphthacenyl und insbesondere für Phenyl oder Naphthyl.

Substituierte Arylreste weisen vorzugsweise 1, 2, 3, 4 oder 5,

20 insbesondere 1, 2 oder 3 Substituenten, ausgewählt unter Alkyl, Alkoxy, Carboxyl, Carboxylat, Trifluormethyl, Nitro, Cyano oder Halogen auf.

Hetaryl steht vorzugsweise für Pyridyl, Chinolinyl, Acridinyl,

25 Pyridazinyl, Pyrimidinyl oder Pyrazinyl.

Substituierte Hetarylreste weisen vorzugsweise 1, 2 oder 3 Substituenten, ausgewählt unter Alkyl, Alkoxy, Trifluormethyl oder Halogen auf.

30

Die obigen Ausführungen zu Alkyl-, Cycloalkyl- und Arylresten gelten entsprechend für Alkoxy-, Cycloalkyloxy- und Aryloxyreste.

Die Reste NE<sup>1</sup>E<sup>2</sup> stehen vorzugsweise für N,N-Dimethyl, N,N-Diethyl,

35 N,N-Dipropyl, N,N-Diisopropyl, N,N-Di-n-butyl, N,N-Di-t.-butyl, N,N-Dicyclohexyl oder N,N-Diphenyl.

Halogen steht für Fluor, Chlor, Brom und Iod, bevorzugt für Fluor, Chlor und Brom.

40

Carboxylat steht im Rahmen dieser Erfindung vorzugsweise für ein Derivat einer Carbonsäurefunktion, insbesondere für ein Metallcarboxylat, eine Carbonsäureesterfunktion oder eine Carbonsäureamidfunktion, besonders bevorzugt für eine Carbonsäureesterfunktion. Dazu zählen z.B. die Ester mit C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>-Alkanolen, wie Methanol, Ethanol, n-Propanol, Isopropanol, n-Butanol, sec.-Butanol und tert.-Butanol.

Bevorzugt stehen in den Formeln I.1 und I.2 die Reste A<sup>1</sup> bzw. in der Formel I.3 die Reste A<sup>2</sup> und A<sup>3</sup> jeweils zusammen mit dem Phosphor- und dem Sauerstoffatom der Phosphinamiditgruppe, an die sie gebunden sind, für einen 5- bis 8-gliedrigen Heterocyclus, der gegebenenfalls ein- oder zweifach mit Aryl und/oder Hetaryl anelliert sein kann.

Bei den anellierten Arylen der Reste A<sup>1</sup>, A<sup>2</sup> und/oder A<sup>3</sup> handelt es sich bevorzugt um Benzol oder Naphthalin, insbesondere um Benzol.

Bevorzugt sind die anellierten Aryle und/oder Hetaryle der Reste A<sup>1</sup>, A<sup>2</sup> und/oder A<sup>3</sup> unsubstituiert oder weisen je 1, 2 oder 3, insbesondere 1 oder 2 Substituenten auf, die unter Alkyl, Alkoxy, 15 Trifluormethyl, Halogen, Nitro, Cyano, Carboxyl und Carboxylat ausgewählt sind.

A<sup>1</sup> steht bevorzugt für einen 2,2'-Biphenylen-, 2,2'-Binaphthylen- oder 2,3-Xylylen-Rest, der 1, 2 oder 3 Substituenten, ausgewählt unter Alkyl, Alkoxy, Trifluormethyl, Carboxylat oder Halogen, tragen kann. Alkyl steht dabei vorzugsweise für C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>-Alkyl und insbesondere für t.-Butyl. Alkoxy steht dabei vorzugsweise für C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>-Alkoxy und insbesondere für Methoxy. Halogen steht insbesondere für Fluor, Chlor oder Brom.

25 Reste A<sup>2</sup> und A<sup>3</sup> stehen vorzugsweise für einen 2,2'-Biphenylen-Rest. Bevorzugt weisen diese Reste A<sup>2</sup> und A<sup>3</sup> die verbrückende Gruppe B in para-Position zum Phosphoratom oder zum Sauerstoffatom der Phosphinamiditgruppe auf.

30 Bevorzugt stehen in den Formeln I.1 und I.3 die Reste X<sup>1</sup> bzw. in der Formel I.2 die Reste X<sup>2</sup> und X<sup>3</sup> jeweils für einen 5- oder 6-gliedrigen Heterocyclus, der wenigstens ein Stickstoffatom aufweist, welches direkt an das Phosphoratom unter Ausbildung einer Phosphinamiditgruppe gebunden ist. Bevorzugte Reste X<sup>1</sup>, X<sup>2</sup> und/oder X<sup>3</sup> können zusätzlich ein oder zwei Heteroatom(e), ausgewählt unter N, O und S aufweisen. Vorzugsweise handelt es sich bei den zusätzlichen Heteroatomen um Stickstoffatome. Bevorzugte Reste X<sup>1</sup>, X<sup>2</sup> und/oder X<sup>3</sup> sind zusätzlich ein- oder zweifach mit Aryl und/40 oder Hetaryl anelliert. Nicht anellierte Heterocyclen sind vorzugsweise unsubstituiert oder weisen einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Cycloalkoxy, Aryloxy, Acyl, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Cyano, Carboxyl, Carboxylat, Alkoxycarbonyl oder NE<sup>1</sup>E<sup>2</sup>, tragen können, wobei E<sup>1</sup> und E<sup>2</sup> gleich oder verschieden sein können und für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl stehen. Bei einfach anellierten Resten X<sup>1</sup>, X<sup>2</sup> und/oder X<sup>3</sup> ist der Heterocyclus vorzugsweise

unsubstituiert oder weist einen der zuvor genannten Substituenten am Heterocyclus auf. Bei einfach und zweifach anellierten Resten  $X^1$ ,  $X^2$  und/oder  $X^3$  weisen die anellierten Ringe vorzugsweise unabhängig voneinander je 1, 2 oder 3, insbesondere 1 oder 2 der zu 5 vor genannten Substituenten auf.

Vorzugsweise sind die Reste  $X^1$ ,  $X^2$  und  $X^3$  ausgewählt unter aromatischen Heterocyclen.

10 Weisen die Reste  $X^1$ ,  $X^2$  und/oder  $X^3$  anellierten Aryle auf, so handelt es sich bevorzugt um Benzol oder Naphthalin, insbesondere um Benzol.

15 Bevorzugt sind die Reste  $X^1$ ,  $X^2$  und  $X^3$  unabhängig voneinander ausgewählt unter 1-Pyrrolyl, 1-Pyrazolyl, 1-Imidazolyl, 1-Triazolyl, 1-Indyl, 1-Indazolyl, 7-Purinyl, 2-Isoindyl, und 9-Carbazolyl, die gegebenenfalls einen, zwei oder drei der zuvor genannten Substituenten tragen.

20 25 Die Reste  $X^2$  und  $X^3$  stehen vorzugsweise für einen 1-Pyrrolyl-Rest, der die verbrückende Gruppe B in 2-Position oder in 3-Position, insbesondere in 2-Position, aufweist. Zusätzlich kann dieser einen, zwei oder drei der zuvor genannten Substituenten in 3-, 4- und/oder 5-Position tragen.

30 35 Die verbrückende Gruppe B steht vorzugsweise für eine Kohlenstoff-Kohlenstoff-Einfachbindung oder für eine zweiwertige verbrückende Gruppe mit 1 bis 15 Atomen in der Kette zwischen den flankierenden Bindungen.

30 Vorzugsweise steht B für eine verbrückende Gruppe der allgemeinen Formeln  $-D-$ ,  $-(CO)-D-(CO)-$  oder  $-(CO)-(CO)-$ , worin

35 40 45 D für eine  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkylenbrücke steht, die eine, zwei, drei oder vier Doppelbindungen und/oder einen, zwei, drei oder vier Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Nitro, Cyano, Carboxyl, Carboxylat, Cycloalkyl und Aryl, aufweisen kann, wobei der Arylsubstituent zusätzlich einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxy carbonyl oder Cyano, tragen kann, und/oder die Alkylenbrücke D durch ein, zwei oder drei nicht benachbarte, gegebenenfalls substituierte Heteroatome unterbrochen sein kann, und/oder die Alkylenbrücke D ein-, zwei- oder dreifach mit Aryl und/ oder Hetaryl anelliert sein kann, wobei die anellierten Aryl- und Hetarylgruppen je einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy,

Cycloalkoxy, Aryloxy, Acyl, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Cyano, Carboxyl, Alkoxy carbonyl oder  $NE^1E^2$ , tragen können, wobei  $E^1$  und  $E^2$  gleich oder verschieden sein können und für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl stehen.

5

Der Rest D steht vorzugsweise für eine  $C_1$ - bis  $C_8$ -Alkylenbrücke, die, in Abhängigkeit von der Kohlenstoffatomanzahl, 1-, 2- oder 3fach mit Aryl anelliert ist und/oder die 1, 2, 3 oder 4 Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl und gegebenenfalls substituiertem Aryl, aufweisen kann und/oder die zusätzlich durch 1, 2 oder 3 gegebenenfalls substituierte Heteroatome unterbrochen sein kann.

Bei den anellierten Arylen der Reste D handelt es sich bevorzugt um Benzol oder Naphthalin, insbesondere um Benzol. Anellierte Benzolringe sind vorzugsweise unsubstituiert oder weisen 1, 2 oder 3, insbesondere 1 oder 2 Substituenten auf, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Carboxyl, Alkoxy carbonyl und Cyano. Anellierte Naphthaline sind vorzugsweise unsubstituiert oder weisen im nicht anellierten Ring und/oder im anellierten Ring jeweils 1, 2 oder 3, insbesondere 1 oder 2 der zuvor bei den anellierten Benzolringen genannten Substituenten auf. Dieser steht dann bevorzugt für Alkyl oder Alkoxy carbonyl. Bei den Substituenten der anellierten Aryle steht Alkyl vorzugsweise für  $C_1$ - bis  $C_4$ -Alkyl und insbesondere für Methyl, Isopropyl und tert.-Butyl. Alkoxy steht dabei vorzugsweise für  $C_1$ - bis  $C_4$ -Alkoxy und insbesondere für Methoxy. Alkoxy carbonyl steht vorzugsweise für  $C_1$ - bis  $C_4$ -Alkoxy carbonyl. Halogen steht dabei insbesondere für Fluor und Chlor.

30

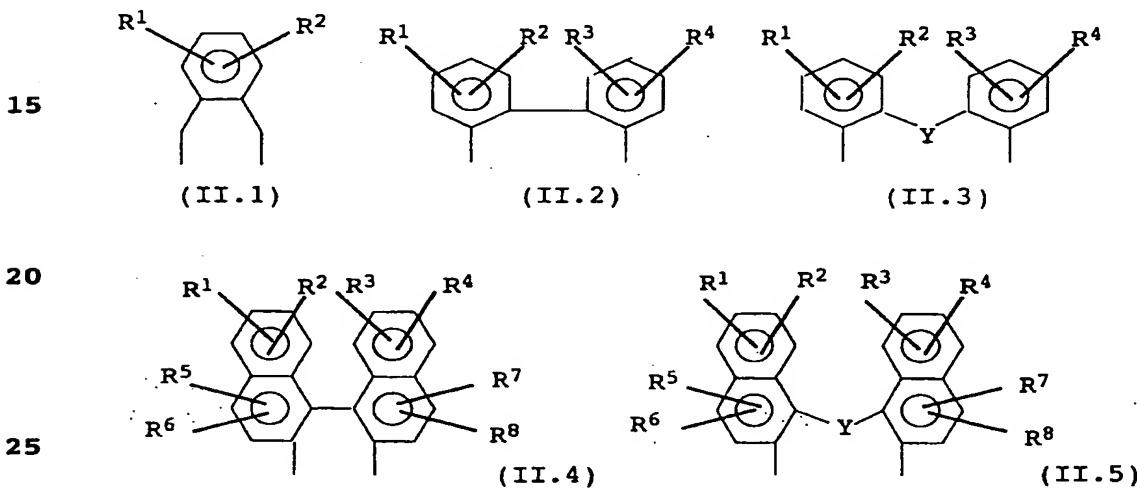
Wenn die Alkylenbrücke des Restes D durch 1, 2 oder 3, gegebenenfalls substituierte Heteroatome unterbrochen ist, so sind diese bevorzugt ausgewählt unter O, S oder  $NR^{10}$ , wobei  $R^{10}$  für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl steht.

35

Wenn die Alkylenbrücke des Restes D substituiert ist, so weist sie 1, 2, 3 oder 4 Substituenten auf, der/die vorzugsweise ausgewählt ist/sind unter Alkyl, Cycloalkyl und Aryl, wobei der Aryl substituent zusätzlich 1, 2 oder 3 Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxy carbonyl und Cyano, tragen kann. Vorzugsweise sind die Substituenten der Alkylenbrücke D ausgewählt unter Methyl, Ethyl, n-Propyl, Isopropyl, n-Butyl, sec.-Butyl, tert.-Butyl, Phenyl, p-( $C_1$ - bis  $C_4$ -Alkyl)phenyl, bevorzugt p-Methylphenyl, p-( $C_1$ - bis  $C_4$ -Alkoxy)phenyl, bevorzugt p-Methoxyphenyl, p-Halogenphenyl, bevorzugt p-Chlorphenyl und p-Trifluormethylphenyl.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform steht D für eine nicht anellierte C<sub>1</sub>- bis C<sub>7</sub>-Alkylenbrücke, die wie zuvor beschrieben substituiert und/oder durch gegebenenfalls substituierte Heteroatome unterbrochen ist. Insbesondere steht der Rest D für eine C<sub>1</sub>- bis C<sub>5</sub>-Alkylenbrücke, die 1, 2, 3, oder 4 Substituenten aufweist, die ausgewählt sind unter Methyl, Ethyl, n-Propyl, Isopropyl, n-Butyl, sec.-Butyl, tert.-Butyl und Phenyl.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform steht D für einen Rest der Formel II.1, II.2, II.3, II.4 oder II.5



worin

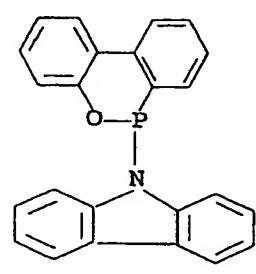
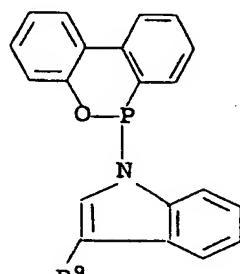
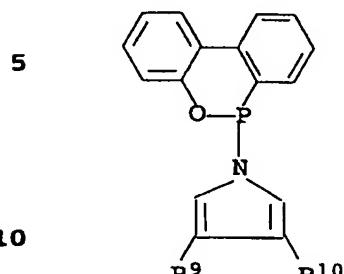
30 Y für O, S, NR<sup>9</sup> steht, wobei  
R<sup>9</sup> für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl steht,

oder Y für eine C<sub>1</sub>- bis C<sub>3</sub>-Alkylenbrücke steht, die eine Doppelbindung und/oder einen Alkyl-, Cycloalkyl- oder Arylsubstituenten aufweisen kann, wobei der Arylsubstituent einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxycarbonyl oder Cyano, tragen kann,

40 oder Y für eine C<sub>2</sub>- bis C<sub>3</sub>-Alkylenbrücke steht, die durch O, S oder NR<sup>9</sup> unterbrochen ist,

45 R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>7</sup> und R<sup>8</sup> unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxycarbonyl oder Cyano stehen.

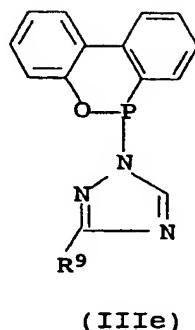
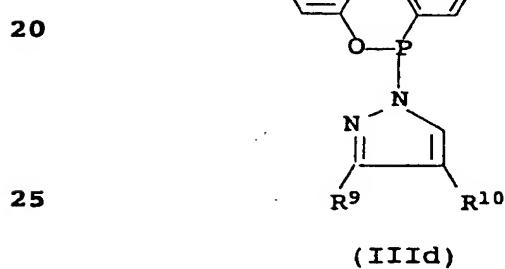
Insbesondere ist der Phosphinamiditligand ausgewählt ist unter Liganden der Formeln IIIa bis IIIi



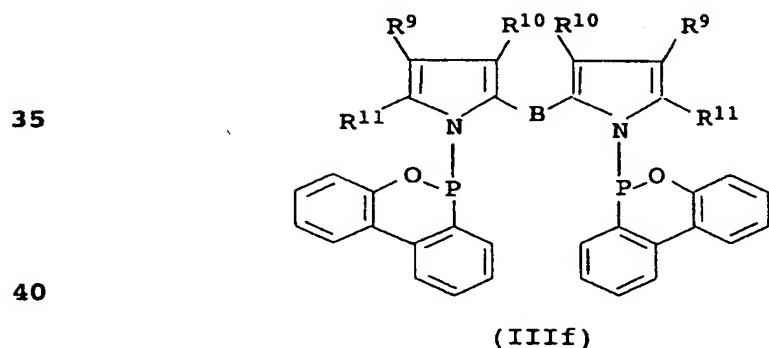
(IIIa)

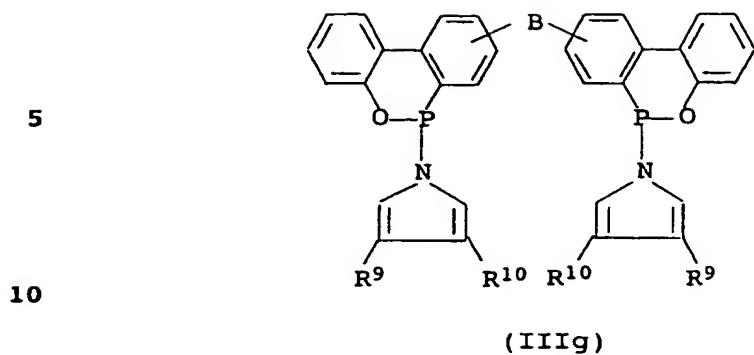
(IIIb)

(IIIc)

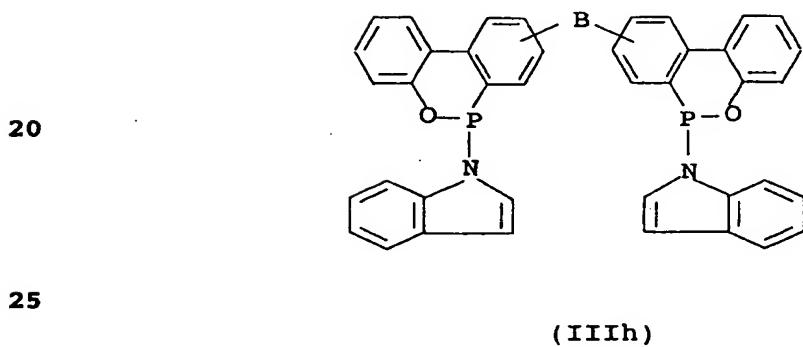


30

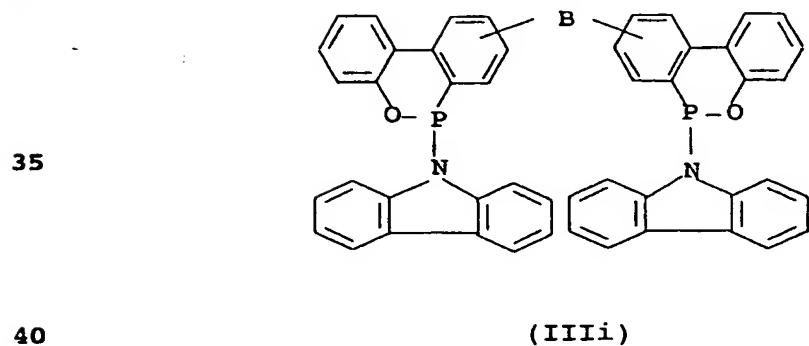




15



30



worin

45 R<sup>9</sup> und R<sup>10</sup> unabhängig voneinander für Wasserstoff, Methyl, Ethyl oder Trifluormethyl stehen,

R<sup>11</sup> für Wasserstoff oder COOC<sub>2</sub>H<sub>5</sub> steht,

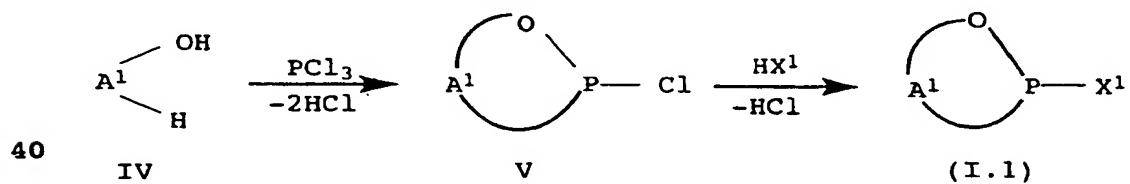
B für CH<sub>2</sub>, C(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, (CO)-(CO) oder (CO)-D-(CO) steht,

5 wobei B in den Formeln IIIg, IIIh und IIIi jeweils in den o,o-, m,m- oder p,p-Positionen zu den Phosphoratomen stehen kann und

10 D für eine C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkylenbrücke steht, die eine, zwei, drei oder vier Doppelbindungen aufweisen und/oder die wie zuvor beschrieben substituiert und/oder durch gegebenenfalls substituierte Heteroatome unterbrochen und/oder mit Aryl und/oder Hetaryl anelliert sein kann.

15 Die erfindungsgemäßen Katalysatoren können einen oder mehrere der Phosphinamiditliganden der Formeln I.1, I.2 und I.3 aufweisen. Zusätzlich zu den zuvor beschriebenen Liganden der allgemeinen Formeln I.1, I.2 und I.3 können sie noch wenigstens einen weiteren Liganden, der ausgewählt ist unter Halogeniden, Aminen, 20 Carboxylaten, Acetylacetonat, Aryl- oder Alkylsulfonaten, Hydrid, CO, Olefinen, Dienen, Cycloolefinen, Nitrilen, N-haltigen Heterocyclen, Aromaten und Heteroaromaten, Ethern, PF<sub>3</sub> sowie ein-, zwei- und mehrzähnigen Phosphin-, Phosphinit-, Phosphonit- und Phosphitliganden aufweisen. Diese weiteren Liganden können ebenfalls 25 ein-, zwei- oder mehrzähnig sein und am Metallatom des Katalysatorkomplexes koordinieren. Geeignete weitere phosphorhaltige Liganden sind z. B. übliche Phosphin-, Phosphonit-, und Phosphitliganden.

30 Zur Herstellung der erfindungsgemäß eingesetzten Phosphinamiditliganden der Formel I.1 kann man z. B. eine Hydroxylgruppen-haltige Verbindung der Formel IV mit einem Phosphortrihalogenid, bevorzugt PCl<sub>3</sub>, zu einer Verbindung der Formel V und diese dann mit einer Verbindung HX<sup>1</sup>, die mindestens eine sekundäre Aminogruppe 35 aufweist, gemäß folgendem Schema



umsetzen, wobei A<sup>1</sup> und X<sup>1</sup> die zuvor angegebenen Bedeutungen besitzen.

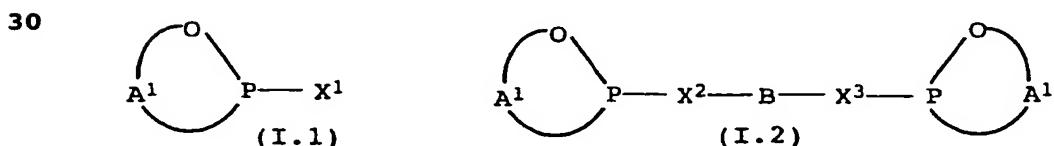
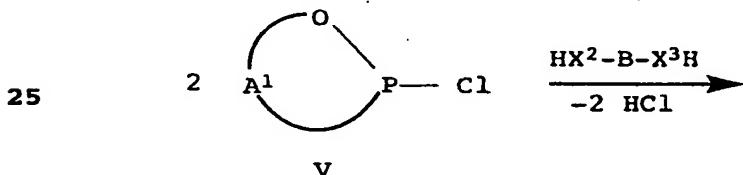
45 Beispiele für geeignete Verbindungen der Formel IV sind z. B. Biphenyl-2-ol, Binaphthyl-2-ol, 1,1'-Biphenyl-4-phenyl-2-ol, 1,1'-Biphenyl-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-2-ol, 1,1'-Biphenyl-

3,3'-di-t-amyl-5,5'-dimethoxy-2-ol, 1,1'-Biphenyl-3,3'-di-t-bu-  
tyl-5,5'-dimethoxy-2-ol, 1,1'-Biphenyl-3,3'-di-t-butyl-2-ol,  
1,1'-Biphenyl-3,3'-di-t-butyl-6,6'-dimethyl-2-ol, 1,1'-Biphenyl-  
3,3',5,5'-tetra-t-butyl-6,6'-dimethyl-2-ol, 1,1'-Biphenyl-3,3'-  
5 di-t-butyl-5,5'-di-t-butoxy-2-ol, 1,1'-Biphenyl-3,3'-di-t-he-  
xyl-5,5'-dimethoxy-2-ol, 1,1'-Biphenyl-3-t-butyl-5,5'-dime-  
thoxy-2-ol, 1,1'-Biphenyl-3,3'-di[2-(1,3-dioxacyclohexan)]-  
5,5'-dimethoxy-2-ol, 1,1'-Biphenyl-3,3'-diformal-5,5'-dime-  
thoxy-2-ol und 1,1'-Biphenanthren-2-ol, insbesondere Biphe-  
10 nyl-2-ol und Binaphthyl-2-ol.

Beispiele für geeignete Verbindungen  $HX^1$  sind z.B. Pyrrol, Pyrazol, Imidazol, 1-Triazol, Indol, Indazol, Purin, Isoindol, und Carbazol.

15

Zur Herstellung der erfundungsgemäß eingesetzten Phosphinamiditliganden der Formel I.2 kann man z. B. zwei Mol wenigstens einer Verbindung der allgemeinen Formel V mit einem Mol einer Verbindung  $\text{HX}^2\text{-B-X}^3\text{H}$ , worin  $\text{X}^2$ ,  $\text{X}^3$  und B die zuvor angegebenen Bedeutungen besitzen und die mindestens zwei sekundäre Aminogruppen aufweist, gemäß folgendem Schema



35

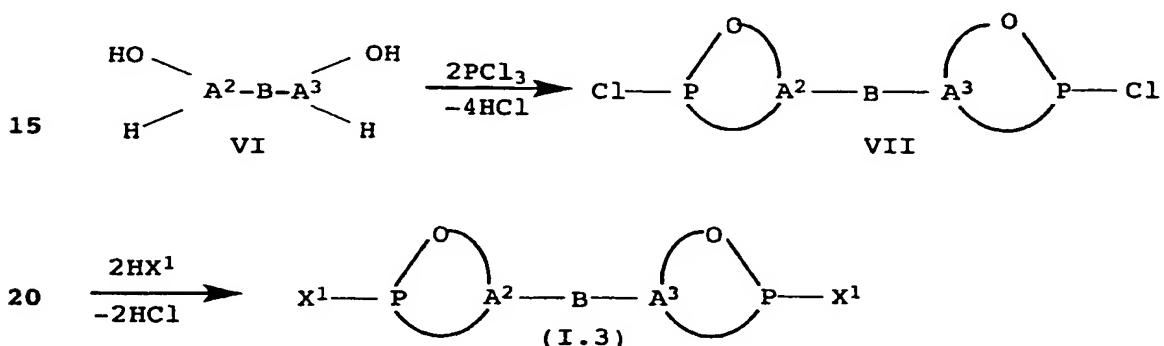
umsetzen. Bei Einsatz nur einer Verbindung vom Typ der Formel V werden dabei Phosphinamiditliganden mit zwei gleichen Phosphinamiditresten erhalten. Gewünschtenfalls können jedoch auch zwei unterschiedliche Verbindungen der Formel V durch eine Verbindung 40  $\text{HX}^2-\text{B}-\text{X}^3\text{H}$  verbrückt werden.

Geeignete Amine der Formel  $HX^2-B-X^3H$  sind z.B. übliche, dem Fachmann bekannte alkylenverbrückte Bispyrrole und diacylverbrückte Bispyrrole.

45 Ein Verfahren zur Herstellung dieser Liganden wird in der DE-A-195 21 340, US 5,739,372 sowie in Phosphorus and Sulfur, 1987, Bd. 31, S. 71 ff. für den Aufbau von 6H-Di-

benz[c,e][1,2]oxaphosphorin-Ringsystemen beschrieben. Auf diese Dokumente wird hier in vollem Umfang Bezug genommen.

Zur Herstellung der erfindungsgemäß eingesetzten Phosphinamidit-  
 5 liganden der Formel I.3 kann man z. B. eine Verbindung der Formel  
 VI, die zwei Hydroxylgruppen aufweist mit einem Phosphortrihalo-  
 genid, bevorzugt  $\text{PCl}_3$ , zu einer Verbindung der Formel VII und  
 diese dann mit mindestens einer Verbindung  $\text{HX}^1$ , wie zuvor bei der  
 Herstellung der Phosphinamiditliganden der Formel I.1 beschrie-  
 10 ben, gemäß folgendem Schema



umsetzen, wobei  $A^2$ ,  $A^3$  und  $X^1$  die zuvor angegebenen Bedeutungen besitzen. Dabei können gewünschtenfalls auch zwei verschiedene 25 Verbindungen  $HX^1$  zur Herstellung der Verbindungen der Formel I.3 eingesetzt werden.

Die Verbindungen der Formeln V und VII können gewünschtenfalls isoliert und durch bekannte Methoden, wie z. B. Destillation, 30 Kristallisation, Chromatographie u. ä. gereinigt werden.

Die Umsetzung von Verbindungen der Formel IV zu Verbindungen der Formel V und von Verbindungen der Formel VI zu Verbindungen der Formel VII verläuft im Allgemeinen bei einer erhöhten Temperatur 35 in einem Bereich von etwa 40 bis etwa 200 °C, wobei die Umsetzung auch unter sukzessiver Temperaturerhöhung geführt werden kann. Zusätzlich kann zu Beginn der Reaktion oder nach einer gewissen Reaktionsdauer eine Lewis-Säure, wie z. B. Zinkchlorid oder Aluminiumchlorid, als Katalysator zugesetzt werden. Die weitere Um- 40 setzung von Verbindungen der Formeln V und VII zu den erfindungsgemäß eingesetzten Phosphinamiditliganden der Formeln I.1, I.2 und I.3 erfolgt im Allgemeinen in Gegenwart einer Base, z. B. einem aliphatischen Amin, wie Diethylamin, Dipropylamin, Dibutylamin, Trimethylamin, Tripropylamin und vorzugsweise Triethylamin 45 oder Pyridin. Die Herstellung kann auch durch Deprotonierung des Stickstoff-Heterocyclus mit einer Base und anschließende Umsetzung mit einer Verbindung der Formel V oder VII erfolgen. Zur De-

protonierung geeignete Basen sind z.B. Alkalihydride, bevorzugt Natriumhydrid und Kaliumhydrid, Alkaliamide, bevorzugt Natriumamid, Lithiumdiisopropylamid, n-Butyllithium etc.

5 Vorteilhafterweise gelingt die Herstellung der erfindungsgemäß eingesetzten Phosphinamiditliganden ohne Verwendung von Magnesium- oder Lithium-organischen Verbindungen. Die einfache Reaktionssequenz erlaubt eine breite Variationsmöglichkeit der Liganden. Die Darstellung gelingt somit effizient und ökonomisch aus leicht zugängigen Edukten.

Im Allgemeinen werden unter Hydroformylierungsbedingungen aus den jeweils eingesetzten Katalysatoren oder Katalysatorvorstufen katalytisch aktive Spezies der allgemeinen Formel  $H_xMy(CO)_zL_q$  gebildet, worin M für ein Metall der VIII. Nebengruppe, L für einen erfindungsgemäßen Phosphinamiditliganden und q, x, y, z für ganze Zahlen, abhängig von der Wertigkeit und Art des Metalls sowie der Bindigkeit des Liganden L, stehen. Vorzugsweise stehen z und q unabhängig voneinander mindestens für einen Wert von 1, wie z. B. 15 1, 2 oder 3. Die Summe aus z und q steht bevorzugt für einen Wert von 2 bis 5. Dabei können die Komplexe gewünschtenfalls zusätzlich noch mindestens einen der zuvor beschriebenen weiteren Liganden aufweisen.

25 Bei dem Metall M handelt es sich vorzugsweise um Cobalt, Ruthenium, Rhodium, Nickel, Palladium, Platin, Osmium oder Iridium und insbesondere um Cobalt, Ruthenium, Iridium, Rhodium, Nickel, Palladium und Platin.

30 Nach einer bevorzugten Ausführungsform werden die Hydroformylierungskatalysatoren *in situ*, in dem für die Hydroformylierungsreaktion eingesetzten Reaktor, hergestellt. Gewünschtenfalls können die erfindungsgemäßen Katalysatoren jedoch auch separat hergestellt und nach üblichen Verfahren isoliert werden. Zur *in situ*-Herstellung der erfindungsgemäßen Katalysatoren kann man z.B. 35 wenigstens einen Phosphinamiditliganden der allgemeinen Formeln I.1, I.2 und/oder I.3, eine Verbindung oder einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe, gegebenenfalls wenigstens einen weiteren zusätzlichen Liganden und gegebenenfalls ein Aktivierungsmittel in einem inerten Lösungsmittel unter den Hydroformylierungsbedingungen umsetzen.

40 Geeignete Rhodiumverbindungen oder -komplexe sind z. B. Rhodium(II)- und Rhodium(III)-salze, wie Rhodium(III)-chlorid, Rhodium(III)-nitrat, Rhodium(III)-sulfat, Kalium-Rhodiumsulfat, Rhodium(II)- bzw. Rhodium(III)-carboxylat, Rhodium(II)- und Rhodium(III)-acetat, Rhodium(III)-oxid, Salze der Rhodium(III)-

säure, Trisammoniumhexachlororhodat(III) etc. Weiterhin eignen sich Rhodiumkomplexe, wie Rhodiumbiscarbonylacetylacetonat, Acetylacetonatobisethylenrhodium(I) etc. Vorzugsweise werden Rhodiumbiscarbonylacetylacetonat oder Rhodiumacetat eingesetzt.

5

Ebenfalls geeignet sind Rutheniumsalze oder -verbindungen. Geeignete Rutheniumsalze sind beispielsweise Ruthenium(III)chlorid, Ruthenium(IV)-, Ruthenium(VI)- oder Ruthenium(VIII)oxid, Alkalisalze der Rutheniumsauerstoffsäuren wie  $K_2RuO_4$  oder  $KRuO_4$  oder

10 Komplexverbindungen, wie z. B.  $RuHCl(CO)(PPh_3)_3$ . Auch können die Metallcarbonyle des Rutheniums wie Trisrutheniumdodecacarbonyl oder Hexarutheniumoctadecacarbonyl, oder Mischformen, in denen CO teilweise durch Liganden der Formel  $PR_3$  ersetzt sind, wie  $Ru(CO)_3(PPh_3)_2$ , im erfindungsgemäßen Verfahren verwendet werden.

15

Geeignete Cobaltverbindungen sind beispielsweise Cobalt(II)chlorid, Cobalt(II)sulfat, Cobalt(II)carbonat, Cobalt(II)nitrat, deren Amin- oder Hydratkomplexe, Cobaltcarboxylate, wie Cobaltacetat, Cobaltethylhexanoat, Cobaltnaphthanoat, sowie der Cobalt-

20 Caprolactamat-Komplex. Auch hier können die Carbonylkomplexe des Cobalts wie Dicobaltoctacarbonyl, Tetracobaltdodecacarbonyl und Hexacobalhexadecacarbonyl eingesetzt werden.

Die genannten und weitere geeignete Verbindungen des Cobalts,

25 Rhodiums, Rutheniums und Iridiums sind im Prinzip bekannt und in der Literatur hinreichend beschrieben oder sie können vom Fachmann analog zu den bereits bekannten Verbindungen hergestellt werden.

30 Geeignete Aktivierungsmittel sind z. B. Brönsted-Säuren, Lewis-Säuren, wie z. B.  $BF_3$ ,  $AlCl_3$ ,  $ZnCl_2$ , und Lewis-Basen.

Als Lösungsmittel werden vorzugsweise die Aldehyde eingesetzt, die bei der Hydroformylierung der jeweiligen Olefine entstehen, 35 sowie deren höher siedende Folgereaktionsprodukte, z. B. die Produkte der Aldolkondensation. Ebenfalls geeignete Lösungsmittel sind Aromaten, wie Toluol und Xyrole, Kohlenwasserstoffe oder Gemische von Kohlenwasserstoffen, auch zum Verdünnen der oben genannten Aldehyde und der Folgeprodukte der Aldehyde. Bei ausreichend hydrophilisierten Liganden können auch Wasser, Alkohole, wie Methanol, Ethanol, n-Propanol, Isopropanol, n-Butanol, Isobutanol, Ketone, wie Aceton und Methylethyleketon etc., eingesetzt werden.

Das Molmengenverhältnis von Phosphinamiditligand zu Metall der VIII. Nebengruppe liegt im Allgemeinen in einem Bereich von etwa 1:1 bis 1 000:1.

5 Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Hydroformylierung von Verbindungen, die wenigstens eine ethylenisch ungesättigte Doppelbindung enthalten, durch Umsetzung mit Kohlenmonoxid und Wasserstoff in Gegenwart wenigstens eines der erfindungsgemäßen Hydroformylierungskatalysatoren.

10

Als Substrate für das erfindungsgemäße Hydroformylierungsverfahren kommen prinzipiell alle Verbindungen in Betracht, welche eine oder mehrere ethylenisch ungesättigte Doppelbindungen enthalten.

Dazu zählen z. B. Olefine, wie  $\alpha$ -Olefine, interne geradkettige

15 und interne verzweigte Olefine. Geeignete  $\alpha$ -Olefine sind z. B. Ethylen, Propen, 1-Buten, 1-Penten, 1-Hexen, 1-Hepten, 1-Octen, 1-Nonen, 1-Decen, 1-Undecen, 1-Dodecen etc.

Geeignete geradkettige interne Olefine sind vorzugsweise C<sub>4</sub>- bis

20 C<sub>20</sub>-Olefine, wie 2-Buten, 2-Penten, 2-Hexen, 3-Hexen, 2-Hepten, 3-Hepten, 2-Octen, 3-Octen, 4-Octen etc.

Geeignete verzweigte, interne Olefine sind vorzugsweise C<sub>4</sub>- bis C<sub>20</sub>-Olefine, wie 2-Methyl-2-Buten, 2-Methyl-2-Penten, 3-Methyl-

25 thyl-2-Penten, verzweigte, interne Hepten-Gemische, verzweigte, interne Octen-Gemische, verzweigte, interne Nonen-Gemische, verzweigte, interne Decen-Gemische, verzweigte, interne Undecen-Gemische, verzweigte, interne Dodecen-Gemische etc.

30 Geeignete zu hydroformylierende Olefine sind weiterhin C<sub>5</sub>- bis C<sub>8</sub>- Cycloalkene, wie Cyclopenten, Cyclohexen, Cyclohepten, Cycloocten und deren Derivate, wie z. B. deren C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkylderivate mit 1 bis 5 Alkylsubstituenten. Geeignete zu hydroformylierende Olefine sind weiterhin Vinylaromaten, wie Styrol,  $\alpha$ -Methylstyrol,

35 4-Isobutylstyrol etc. Geeignete zu hydroformylierende Olefine sind weiterhin  $\alpha,\beta$ -ethylenisch ungesättigte Mono- und/oder Dicarbonsäuren, deren Ester, Halbester und Amide, wie Acrylsäure, Methacrylsäure, Maleinsäure, Fumarsäure, Crotonsäure, Itaconsäure, 3-Pentensäuremethylester, 4-Pentensäuremethylester, Ölsäuremethylester, Acrylsäuremethylester, Methacrylsäuremethylester, ungesättigte Nitrile, wie 3-Pentennitril, 4-Pentennitril, Acrylnitril, Vinylether, wie Vinylmethylether, Vinylmethylether, Vinyl-

40 propylether etc., C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkenole, -Alkendiole und -Alkadienoole, wie 2,7-Octadienol-1. Geeignete Substrate sind weiterhin Di- oder Polyene mit isolierten oder konjugierten Doppelbindungen. Dazu zählen z. B. 1,3-Butadien, 1,4-Pentadien, 1,5-Hexadien,

45 Geeignete Substrate sind weiterhin Di- oder Polyene mit isolierten oder konjugierten Doppelbindungen. Dazu zählen z. B. 1,3-Butadien, 1,4-Pentadien, 1,5-Hexadien,

1,6-Heptadien, 1,7-Octadien, Vinylcyclohexen, Dicyclopentadien, 1,5,9-Cyclooctatrien sowie Butadien homo- und -copolymeren.

Bevorzugt ist ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass 5 der Hydroformylierungskatalysator in situ hergestellt wird, wobei man mindestens einen erfindungsgemäßen Phosphinamiditliganden, eine Verbindung oder einen Komplex eines Metalls der VIII. Neben- gruppe und gegebenenfalls ein Aktivierungsmittel in einem inerten Lösungsmittel unter den Hydroformylierungsbedingungen zur Reak- 10 tion bringt.

Die Hydroformylierungsreaktion kann kontinuierlich, semikonti- nuierlich oder diskontinuierlich erfolgen.

15 Geeignete Reaktoren für die kontinuierliche Umsetzung sind dem Fachmann bekannt und werden z. B. in Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 1, 3. Aufl., 1951, S. 743 ff. beschrieben.

20 Geeignete druckfeste Reaktoren sind dem Fachmann ebenfalls be- kannt und werden z. B. in Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 1, 3. Auflage, 1951, S. 769 ff. beschrieben. Im All- gemeinen wird für das erfindungsgemäße Verfahren ein Autoklav verwendet, der gewünschtenfalls mit einer Rührvorrichtung und ei- 25 ner Innenauskleidung versehen sein kann.

Die Zusammensetzung des im erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzten Synthesegases aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff kann in wei- 30 ten Bereichen variieren. Das molare Verhältnis von Kohlenmonoxid und Wasserstoff beträgt in der Regel etwa 5:95 bis 70:30, bevor- zugt etwa 40:60 bis 60:40. Insbesondere bevorzugt wird ein mola- res Verhältnis von Kohlenmonoxid und Wasserstoff im Bereich von etwa 1:1 eingesetzt.

35 Die Temperatur bei der Hydroformylierungsreaktion liegt im Allge- meinen in einem Bereich von etwa 20 bis 180 °C, bevorzugt etwa 50 bis 150 °C. Die Reaktion wird in der Regel bei dem Partialdruck des Reaktionsgases bei der gewählten Reaktionstemperatur durchge- führt. Im Allgemeinen liegt der Druck in einem Bereich von etwa 1 40 bis 700 bar, bevorzugt 1 bis 600 bar, insbesondere 1 bis 300 bar. Der Reaktionsdruck kann in Abhängigkeit von der Aktivität des eingesetzten erfindungsgemäßen Hydroformylierungskatalysators va- riieren werden. Im Allgemeinen erlauben die erfindungsgemäßen Ka- 45 talsatoren auf Basis von Phosphinamiditliganden eine Umsetzung in einem Bereich niedriger Drücke, wie etwa im Bereich von 1 bis 100 bar.

Die erfindungsgemäßen Hydroformylierungskatalysatoren lassen sich nach üblichen, dem Fachmann bekannten Verfahren vom Austrag der Hydroformylierungsreaktion abtrennen und können im Allgemeinen erneut für die Hydroformylierung eingesetzt werden.

5

Vorteilhafterweise zeigen die erfindungsgemäßen Katalysatoren eine hohe Aktivität, so dass in der Regel die entsprechenden Aldehyde in guten Ausbeuten erhalten werden. Bei der Hydroformylierung von  $\alpha$ -Olefinen sowie von innenständigen, linearen Olefinen

10 zeigen sie zudem eine sehr geringe Selektivität zum Hydrierprodukt des eingesetzten Olefins.

Die zuvor beschriebenen, erfindungsgemäßen Katalysatoren, die chirale Phosphinamiditliganden umfassen, eignen sich zur enantioselektiven Hydroformylierung.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist die Verwendung von Katalysatoren, umfassend einen der zuvor beschriebenen Phosphinamiditliganden, zur Hydroformylierung von Verbindungen mit wenigstens einer ethylenisch ungesättigten Doppelbindung.

Ein weiteres Einsatzgebiet für die erfindungsgemäßen Katalysatoren stellt die Hydrocyanierung von Olefinen dar. Auch die erfindungsgemäßen Hydrocyanierungskatalysatoren umfassen Komplexe eines Metalls der VIII. Nebengruppe, insbesondere Kobalt, Nickel, Ruthenium, Rhodium, Palladium, Platin, bevorzugt Nickel, Palladium und Platin und ganz besonders bevorzugt Nickel. In der Regel liegt das Metall im erfindungsgemäßen Metallkomplex nullwertig vor. Die Herstellung der Metallkomplexe kann, wie bereits für den Einsatz als Hydroformylierungskatalysatoren zuvor beschrieben, erfolgen. Gleiches gilt für die in situ-Herstellung der erfindungsgemäßen Hydrocyanierungskatalysatoren.

Ein zur Herstellung eines Hydrocyanierungskatalysators geeigneter Nickelkomplex ist z.B. Bis(1,5-cyclooctadien)nickel(0).

Gegebenenfalls können die Hydrocyanierungskatalysatoren, analog zu dem bei den Hydroformylierungskatalysatoren beschriebenen Verfahren, in situ hergestellt werden.

40

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist daher ein Verfahren zur Herstellung von Nitrilen durch katalytische Hydrocyanierung, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Hydrocyanierung in Gegenwart mindestens eines der zuvor beschriebenen erfindungsgemäßen Katalysatoren erfolgt. Geeignete Olefine für die Hydrocyanierung sind allgemein die zuvor als Einsatzstoffe für die Hydroformylierung genannten Olefine. Eine spezielle Ausführungsform des erfindungs-

gemäßigen Verfahrens betrifft die Herstellung von Gemischen monoolefinischer C<sub>5</sub>-Mononitrile mit nichtkonjugierter C=C- und C≡N-Bindung durch katalytische Hydrocyanierung von 1,3-Butadien oder 1,3-Butadien-haltigen Kohlenwasserstoffgemischen und die Isomerisierung/Weiterreaktion zu gesättigten C<sub>4</sub>-Dinitrilen, vorzugsweise Adipodinitril in Gegenwart mindestens eines erfindungsgemäßigen Katalysators. Bei der Verwendung von Kohlenwasserstoffgemischen zur Herstellung von monoolefinischer C<sub>5</sub>-Mononitrilen nach dem erfindungsgemäßigen Verfahren wird vorzugsweise ein Kohlenwasserstoffgemisch eingesetzt, das einen 1,3-Butadiengehalt von mindestens 10 Vol.-%, bevorzugt mindestens 25 Vol.-%, insbesondere mindestens 40 Vol.-%, aufweist.

1,3-Butadien-haltige Kohlenwasserstoffgemische sind in großtechnischem Maßstab erhältlich. So fällt z. B. bei der Aufarbeitung von Erdöl durch Steamcracken von Naphtha ein als C<sub>4</sub>-Schnitt bezeichnetes Kohlenwasserstoffgemisch mit einem hohen Gesamtolefinanteil an, wobei etwa 40 % auf 1,3-Butadien und der Rest auf Monoolefine und mehrfach ungesättigte Kohlenwasserstoffe sowie Alkane entfällt. Diese Ströme enthalten immer auch geringe Anteile von im Allgemeinen bis zu 5 % an Alkinen, 1,2-Dienen und Vinylacetylen.

Reines 1,3-Butadien kann z. B. durch extraktive Destillation aus technisch erhältlichen Kohlenwasserstoffgemischen isoliert werden.

Die erfindungsgemäßigen Katalysatoren lassen sich vorteilhaft zur Hydrocyanierung solcher oleinhaltiger, insbesondere 1,3-Butadien-haltiger Kohlenwasserstoffgemische einsetzen, in der Regel auch ohne vorherige destillative Aufreinigung des Kohlenwasserstoffgemischs. Möglicherweise enthaltene, die Effektivität der Katalysatoren beeinträchtigende Olefine, wie z. B. Alkine oder Cumulene, können gegebenenfalls vor der Hydrocyanierung durch selektive Hydrierung aus dem Kohlenwasserstoffgemisch entfernt werden. Geeignete Verfahren zur selektiven Hydrierung sind dem Fachmann bekannt.

Die erfindungsgemäße Hydrocyanierung kann kontinuierlich, semikontinuierlich oder diskontinuierlich erfolgen. Geeignete Reaktoren für die kontinuierliche Umsetzung sind dem Fachmann bekannt und werden z. B. in Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Band 1, 3. Auflage, 1951, S. 743 ff. beschrieben. Vorzugsweise wird für die kontinuierliche Variante des erfindungsgemäßigen Verfahrens eine Rührkesselkaskade oder ein Rohrreaktor verwendet. Geeignete, gegebenenfalls druckfeste Reaktoren für die semikontinuierliche oder kontinuierliche Ausführung sind dem Fachmann be-

kannt und werden z. B. in Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Band 1, 3. Auflage, 1951, S. 769 ff. beschrieben. Im Allgemeinen wird für das erfindungsgemäße Verfahren ein Autoklav verwendet, der gewünschtenfalls mit einer Rührvorrichtung und einer Innenauskleidung versehen sein kann.

Die erfindungsgemäßen Hydrocyanierungskatalysatoren lassen sich nach üblichen, dem Fachmann bekannten Verfahren vom Austrag der Hydrocyanierungsreaktion abtrennen und können im Allgemeinen erneut für die Hydrocyanierung eingesetzt werden.

Die Erfindung wird anhand der folgenden, nicht einschränkenden Beispiele näher erläutert.

15

#### Beispiele

Die im Folgenden beschriebenen Liganden können gewünschtenfalls durch übliche, dem Fachmann bekannte Reinigungsverfahren, wie Kristallisation und Destillation, weiter aufgereinigt werden.

##### A) Herstellung der Liganden IIIa bis IIIc

###### Beispiel 1:

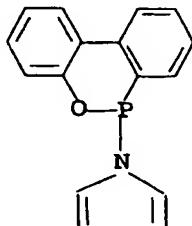
###### 25 Herstellung von Ligand IIIa

206 g (1,5 mol) Phosphortrichlorid und 204 g (1,2 mol) Biphenyl-2-ol werden unter Rühren in einer Argonatmosphäre langsam auf 50 °C und innerhalb von 8 Stunden weiter auf 140 °C erhitzt. Bei 30 starker Chlorwasserstoffentwicklung färbt sich die Lösung gelb. Nach Abkühlen auf 120 °C fügt man eine katalytische Menge an Zinkchlorid (1,2 g; 17 mmol) zu und erhitzt 24 Stunden bei 140 °C. Bei anschließender Destillation geht das Reaktionsprodukt 6-Chlor-(6H)-dibenz[c,e][1,2]oxaphosphorin bei einem Siedepunkt 35 von 132 °C (0,2 mbar) über.  
Ausbeute: 194,8 g (69 %) weiße Kristalle;  
 $^{31}\text{P}$ -NMR-Spektrum:  $\delta$  (ppm) 134,5.

Weitere Verfahren zur Herstellung von 6-Chlor-(6H)-dibenz[c,e][1,2]oxaphosphorin sind in der DE-A-20 34 887 und der EP-A-0 582 957 beschrieben.

2,9 g Kaliumhydrid (35%ige Suspension in Mineralöl; 25 mmol) werden unter Argonatmosphäre in 80 ml Tetrahydrofuran vorgelegt. 45 Dann werden langsam 1,75 g (26 mmol) Pyrrol zugetropft, wobei die Temperatur auf ca. 33 °C ansteigt. Nach Beendigung der Wasserstoffentwicklung werden 6 g (26 mmol) 6-Chlor-(6H)-di-

benz[c,e][1,2]oxaphosphorin als Lösung in 40 ml Tetrahydrofuran zugegeben und anschließend 12 h bei Raumtemperatur gerührt. Das Gemisch wird zur Trockene eingeengt, mit Toluol aufgenommen und über eine 2 cm Kieselgursäule filtriert. Nach Abdampfen des Lösungsmittels erhält man den Liganden IIIa als weißen Feststoff.



10

(IIIa)

20 Ausbeute: 3,3 g (50 %) weiße Kristalle;

$^{31}\text{P}$ -NMR-Spektrum ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  (ppm) 77,2

$^1\text{H}$ -NMR-Spektrum: entspricht dem Strukturvorschlag

Alternativ kann man zur Herstellung von Ligand IIIa 9,7 g (36,6 mmol) 6-Chlor-(6H)-dibenz[c,e][1,2]oxaphosphorin als Lösung in 80 ml Toluol vorlegen, anschließend 4,9 g (73,2 mmol) Pyrrol zugeben und dann langsam 7,6 g (75 mmol) Triethylamin bei Raumtemperatur zutropfen, wobei sich sofort ein Nebel von Triethylaminhydrochlorid bildet. Das Gemisch wird 6 h bei 70 °C und anschließend 12 h bei Raumtemperatur gerührt. Nach Filtration wird das resultierende Filtrat zur Trockene eingeengt, der Rückstand mit Methyl-tert.-butylether aufgenommen und anschließend durch Abkühlen auf -30 °C ausgefällt.

Ausbeute: 6,7 g (72 %);

35  $^{31}\text{P}$ -NMR-Spektrum ( $\text{CDCl}_3$ ): wie oben

$^1\text{H}$ -NMR-Spektrum: entspricht dem Strukturvorschlag

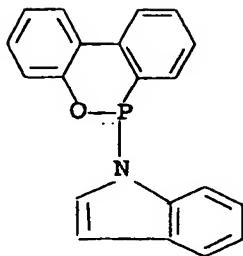
Beispiel 2:

Herstellung von Ligand IIIb

40

Analog der in Beispiel 1 angegebenen Synthesevorschrift erfolgt die Herstellung des Liganden IIIb durch Umsetzung von 6-Chlor-(6H)-dibenz[c,e][1,2]oxaphosphorin mit Indol und Triethylamin als Base. Das erhaltene Produkt wird zur Reinigung mit Wasser gewaschen und aus Acetonitril umkristallisiert.

5



10

(IIIB)

15  $^{31}\text{P}$ -NMR-Spektrum ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  (ppm) 66,7 $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum: entspricht dem Strukturvorschlag

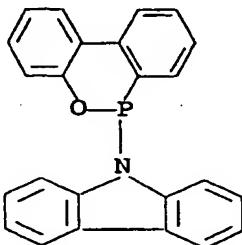
Beispiel 3:

Herstellung von Ligand IIIC

20

Analog der in Beispiel 1 angegebenen Synthesevorschrift erfolgt die Herstellung des Liganden IIIC durch Umsetzung von 6-Chlor-(6H)-dibenz[c,e][1,2]oxaphosphorin mit Carbazol und Triethylamin als Base.

25



30

(IIIC)

35  $^{31}\text{P}$ -NMR-Spektrum ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  (ppm) 81,440  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum: entspricht dem Strukturvorschlag

## B) Hydroformylierungen

Beispiel 4:

45 Hydroformylierung von 1-Octen

In einem 300 ml-Stahlautoklaven mit Begasungsrührer wurden unter Argonschutzgas 123 mg Rhodiumbiscarbonylacetylacetonat, 680 mg Ligand IIIa, 22,5 g 1-Octen und 25 ml Texanol® (Lösungsmittel auf Basis von 2,2,4-Trimethylpentan-1,3-diolmonoisobutyrat) bei 100 °C mit einem Synthesegasgemisch CO/H<sub>2</sub> (1:1) bei 40 bar (108 ppm Rh; Ligand/Metallverhältnis = 54) umgesetzt. Nach einer Reaktionszeit von 4 Stunden wurde der Autoklav entspannt und entleert. Das Gemisch wurde mittels Gaschromatographie (GC) mit internem Standard analysiert. Der Umsatz betrug 100 %, die Selektivität bezüglich Nonanal-Isomeren 96 % und der n-Anteil 80%.

Beispiel 5:

Hydroformylierung von 1-Octen

Analog zu Beispiel 4 wurden 134 mg Rhodiumbiscarbonylacetylacetonat, 310 mg Ligand IIIb, 22,5 g 1-Octen und 25 ml Texanol® zur Hydroformylierung eingesetzt (118 ppm Rh; Ligand/Metallverhältnis = 19). Der Umsatz betrug 99 %, die Selektivität bezüglich Nonanal-Isomeren 88 % und der n-Anteil 68%.

20

Beispiel 6:

Hydroformylierung von 1-Octen

Analog zu Beispiel 4 wurden 12,4 mg Rhodiumbiscarbonylacetylacetonat, 480 mg Ligand IIIc, 22,5 g 1-Octen und 22,5 g Texanol® zur Hydroformylierung eingesetzt (109 ppm Rh; Ligand/Metallverhältnis = 45). Der Umsatz betrug 99 %, die Selektivität bezüglich Nonanal-Isomeren 82 % und der n-Anteil 51%.

30 Beispiel 7:

Hydroformylierung von 3-Pentennitril

Gemäß der allgemeinen Vorschrift von Beispiel 4 wurden 6,2 mg Rhodiumbiscarbonylacetylacetonat, 322 mg Ligand IIIa, 10 g 3-Pentennitril und 15 g Xylol bei einer Temperatur von 110 °C, einem Druck von 80 bar und einer Reaktionszeit von 4 h zur Hydroformylierung eingesetzt (100 ppm Rh; Ligand/Metallverhältnis = 50). Der Umsatz betrug 69 % und die Selektivitäten bezüglich 3-Formylvaleronitril 65%, bezüglich 4-Formylvaleronitril 24% und bezüglich 5-Formylvaleronitril 4%.

Beispiel 8:

45 Hydroformylierung von 3-Pentennitril

Gemäß der allgemeinen Vorschrift von Beispiel 4 wurden 6,2 mg Rhodiumbiscarbonylacetylacetonat, 382 mg Ligand IIIb, 10 g 3-Pentennitril und 15 g Xylol bei einer Temperatur von 110 °C, einem Druck von 70 bar und einer Reaktionszeit von 4 h zur Hydroformylierung eingesetzt (100 ppm Rh; Ligand/Metallverhältnis = 50). Der Umsatz betrug 99 % und die Selektivitäten bezüglich 3-Formylvaleronitril 59%, bezüglich 4-Formylvaleronitril 30% und bezüglich 5-Formylvaleronitril 9%.

10 Beispiel 9:

Hydroformylierung von 3-Pentennitril

Gemäß der allgemeinen Vorschrift von Beispiel 4 wurden 6,2 mg Rhodiumbiscarbonylacetylacetonat, 443 mg Ligand IIIc, 10 g 3-Pentennitril und 15 g Xylol bei einer Temperatur von 110 °C, einem Druck von 70 bar und einer Reaktionszeit von 4 h zur Hydroformylierung eingesetzt (100 ppm Rh; Ligand/Metallverhältnis = 50). Der Umsatz betrug 80 % und die Selektivitäten bezüglich 3-Formylvaleronitril 41%, bezüglich 4-Formylvaleronitril 38% und bezüglich 5-Formylvaleronitril 18%.

Beispiel 10

25 Hydroformylierung von Octen-N

Gemäß der allgemeinen Vorschrift von Beispiel 4 wurden 126 mg Rhodiumbiscarbonylacetylacetonat, 270 mg Ligand IIIa, 22,5 g Octen-N und 22,5 g Texanol® bei einer Temperatur von 130 °C, einem Druck von 60 bar und einer Reaktionszeit von 6 h zur Hydroformylierung eingesetzt (111 ppm Rh; Ligand/Metallverhältnis = 20). Der Umsatz betrug 59 % und die Selektivität bezüglich Nonanal-Isomeren 85 % und bezüglich Nonanol-Isomeren 11%.

35

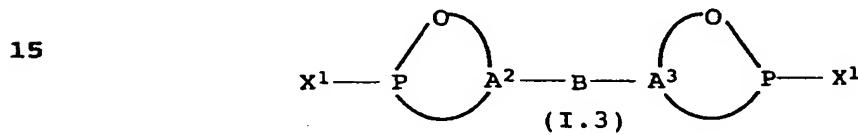
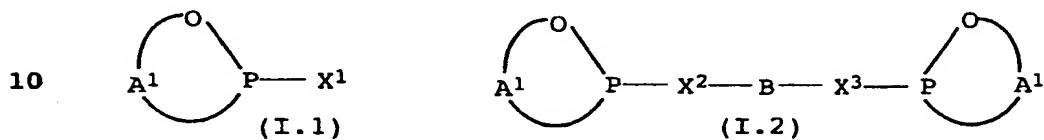
183/

40

45

## Patentansprüche

1. Katalysator, umfassend wenigstens einen Komplex eines Metalls  
 5 der VIII. Nebengruppe mit mindestens einem ein-, zwei- oder mehrzähnigen Phosphinamiditliganden der allgemeinen Formel  
 I.1, I.2 und/oder I.3



worin

20  $A^1$  zusammen mit dem Phosphor- und dem Sauerstoffatom, an die es gebunden ist, für einen 5- bis 8-gliedrigen Heterocyclus steht, der gegebenenfalls ein-, zwei- oder dreifach mit Cycloalkyl, Aryl und/oder Hetaryl anelliert ist, wobei die anellierten Gruppen unabhängig voneinander je einen, zwei oder drei Substituenten, ausgewählt unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Nitro, Cyano, Carboxyl und Carboxylat, tragen können,

25  $A^2$  und  $A^3$  unabhängig voneinander für einen Heterocyclus gemäß der für  $A^1$  angegebenen Definition stehen, der durch B substituiert ist,

30

35

40

45

5           x<sup>1</sup> für einen 5- bis 8-gliedrigen Heterocyclus steht, der wenigstens ein Stickstoffatom aufweist, welches direkt an das Phosphoratom gebunden ist, und wobei der Heterocyclus gegebenenfalls zusätzlich ein oder zwei Heteroatom(e), ausgewählt unter N, O und S aufweisen kann und/oder wobei der Heterocyclus gegebenenfalls ein-, zwei- oder dreifach mit Cycloalkyl, Aryl und/oder Hetaryl anelliert ist, wobei der Heterocyclus und/oder die anellierten Gruppen unabhängig voneinander je einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Cycloalkoxy, Aryloxy, Acyl, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Cyano, Carboxyl, Carboxylat, Alkoxycarbonyl oder NE<sup>1</sup>E<sup>2</sup>, tragen können, wobei E<sup>1</sup> und E<sup>2</sup> gleich oder verschieden sein können und für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl stehen,

10           x<sup>2</sup> und x<sup>3</sup> unabhängig voneinander für einen Heterocyclus gemäß der für für x<sup>1</sup> angegebenen Definition stehen, der durch B substituiert ist,

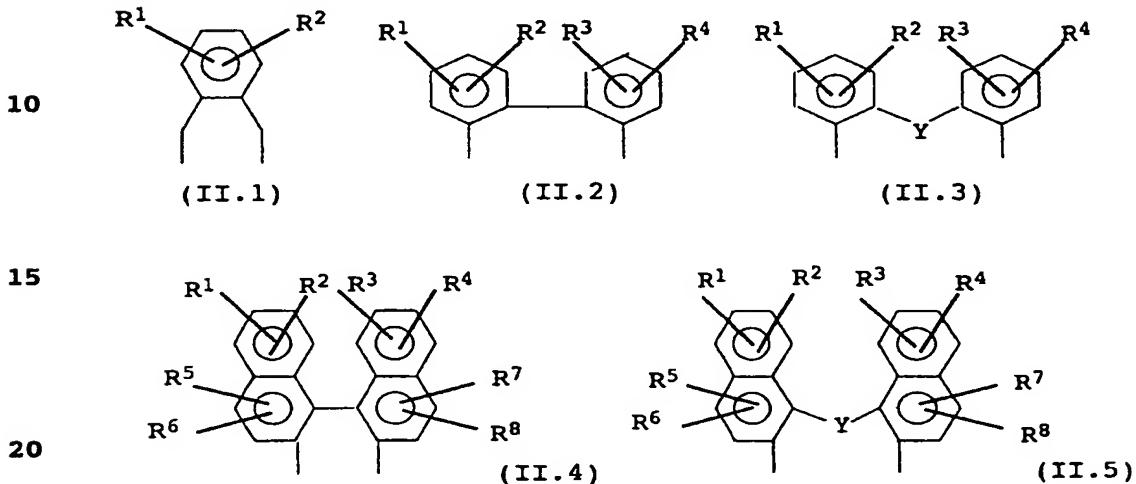
15           20           B entweder für eine Kohlenstoff-Kohlenstoff-Einfachbindung oder für eine zweiwertige verbrückende Gruppe steht, oder Salze und Mischungen davon.

25           2. Katalysator nach Anspruch 1, wobei B für eine verbrückende Gruppe der allgemeinen Formeln -D-, -(CO)-D-(CO)- oder -(CO)-(CO)- steht, worin

30           35           D für eine C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkylenbrücke steht, die eine, zwei, drei oder vier Doppelbindungen und/oder einen, zwei, drei oder vier Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Nitro, Cyano, Carboxyl, Carboxylat, Cycloalkyl und Aryl, aufweisen kann, wobei der Arylsubstituent zusätzlich einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxycarbonyl oder Cyano, tragen kann, und/oder die Alkylenbrücke D durch ein, zwei oder drei nicht benachbarte, gegebenenfalls substituierte Heteroatome unterbrochen sein kann, und/oder die Alkylenbrücke D ein-, zwei- oder dreifach mit Aryl und/oder Hetaryl anelliert sein kann, wobei die anellierten Aryl- und Hetarylgruppen je einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Cycloalkoxy, Aryloxy, Acyl, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Cyano, Carboxyl, Alkoxycarbonyl oder NE<sup>1</sup>E<sup>2</sup>, tragen können, wobei

E<sup>1</sup> und E<sup>2</sup> gleich oder verschieden sein können und für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl stehen.

3. Katalysator nach Anspruch 2, wobei D für einen Rest der Formel II.1, II.2, II.3, II.4 oder II.5



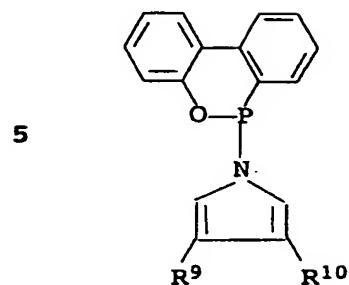
steht, worin

25 Y für O, S, NR<sup>9</sup> steht, wobei  
R<sup>9</sup> für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl steht,  
oder Y für eine C<sub>1</sub>- bis C<sub>3</sub>-Alkylenbrücke steht, die eine  
30 Doppelbindung und/oder einen Alkyl-, Cycloalkyl- oder  
Arylsubstituenten aufweisen kann, wobei der Arylsubsti-  
tuent einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt  
sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro,  
Alkoxy carbonyl oder Cyano, tragen kann,

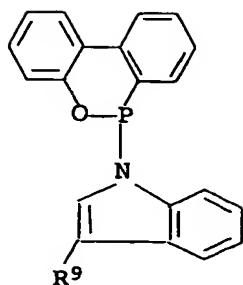
35 oder Y für eine C<sub>2</sub>- bis C<sub>3</sub>-Alkylenbrücke steht, die durch  
O, S oder NR<sup>9</sup> unterbrochen ist,

40 R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4</sup>, R<sup>5</sup>, R<sup>6</sup>, R<sup>7</sup> und R<sup>8</sup> unabhängig voneinander für Was-  
serstoff, Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Halogen, Tri-  
fluormethyl, Nitro, Alkoxy carbonyl oder Cyano stehen.

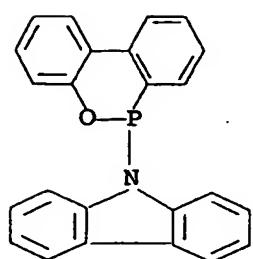
45 4. Katalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei  
der Phosphinamiditliganden ausgewählt ist unter Liganden der  
Formeln IIIa bis IIIi



(IIIa)

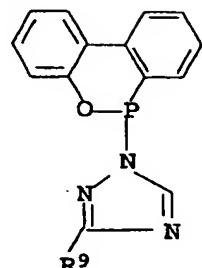
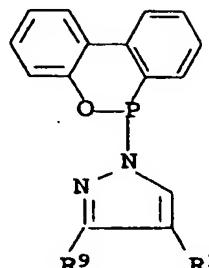


(IIIb)



(IIIc)

15

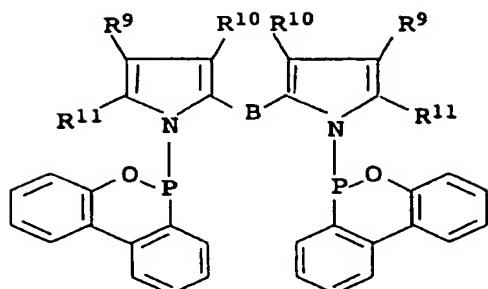


(IIId)

(IIIE)

25

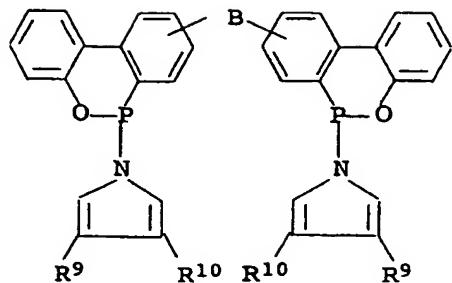
30



(IIIf)

45

5

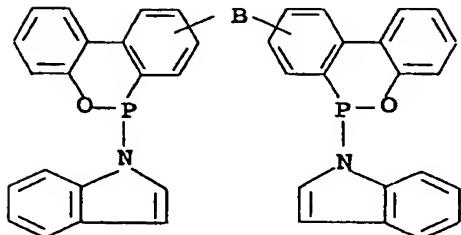


10

(IIIg)

15

20

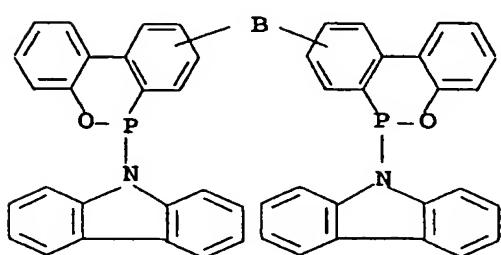


25

(IIIf)

30

35



40

(IIIf)

worin

45

R<sup>9</sup> und R<sup>10</sup> unabhängig voneinander für Wasserstoff, Methyl, Ethyl oder Trifluormethyl stehen,

R<sup>11</sup> für Wasserstoff oder COOC<sub>2</sub>H<sub>5</sub> steht,

B für CH<sub>2</sub>, C(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, (CO)-(CO) oder (CO)-D-(CO) steht,

5 wobei B in den Formeln IIIg, IIIh und IIIi jeweils in den o,o-, m,m- oder p,p-Positionen zu den Phosphoratomen stehen kann, und

10 D für eine C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkylenbrücke, wie in einem der Ansprüche 2 oder 3 definiert, steht.

15 5. Katalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Metall der VIII. Nebengruppe ausgewählt ist unter Cobalt, Ruthenium, Iridium, Rhodium, Nickel, Palladium und Platin.

20 6.. Katalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der zusätzlich wenigstens einen weiteren Liganden, ausgewählt unter Halogeniden, Aminen, Carboxylaten, Acetylacetonat, Aryl- oder Alkylsulfonaten, Hydrid, CO, Olefinen, Dienen, Cycloolefinen, Nitrilen, N-haltigen Heterocyclen, Aromaten und Heteroaromataten, Ethern, PF<sub>3</sub> sowie ein-, zwei- und mehrzähnigen Phosphin-, Phosphinit-, Phosphonit- und Phosphitliganden aufweist.

25 7. Verfahren zur Hydroformylierung von Verbindungen, die wenigstens eine ethylenisch ungesättigte Doppelbindung enthalten, durch Umsetzung mit Kohlenmonoxid und Wasserstoff in Gegenwart eines Hydroformylierungskatalysators, dadurch gekennzeichnet, dass man als Hydroformylierungskatalysator einen Katalysator nach einem der Ansprüche 1 bis 6 einsetzt.

30 8. Verfahren zur Hydrocyanierung von Verbindungen, die wenigstens eine ethylenisch ungesättigte Doppelbindung enthalten, durch Umsetzung mit Cyanwasserstoff in Gegenwart eines Hydrocyanierungskatalysators, dadurch gekennzeichnet, dass man als Hydrocyanierungskatalysator einen Katalysator nach einem der Ansprüche 1 bis 6 einsetzt.

40 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Hydroformylierungskatalysator oder der Hydrocyanierungskatalysator in situ hergestellt wird, wobei man mindestens einen Phosphinamiditiganden, wie in den Ansprüchen 1 bis 6 definiert, eine Verbindung oder einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe und gegebenenfalls ein Aktivierungsmittel in einem inerten Lösungsmittel unter den Hydrfor-

mylierungsbedingungen oder Hydrocyanierungsbedingungen zur Reaktion bringt.

10. Verwendung von Katalysatoren, umfassend einen Phosphinamidit-  
5 liganden gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6 zur Hydroformylie-  
rung oder Hydrocyanierung von Verbindungen mit wenigstens ei-  
ner ethylenisch ungesättigten Doppelbindung.

10 183/

15

20

25

30

35

40

45

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 00/02610

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 B01J31/18 C07C45/50

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 B01J C07C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 710 344 A (BURKE PATRICK M ET AL) 20 January 1998 (1998-01-20) ---	
A	WO 96 16923 A (DSM NV ;DU PONT (US); WISSING ELMO (NL); TEUNISSEN ANTONIUS JACOBU) 6 June 1996 (1996-06-06) ---	
A	US 5 874 639 A (BRYANT DAVID ROBERT ET AL) 23 February 1999 (1999-02-23) ---	
A	US 5 360 938 A (BABIN JAMES E ET AL) 1 November 1994 (1994-11-01) ---	
A	VAN ROOY, ANNEMIEK ET AL: "Phosphoramidites: novel modifying ligands in rhodium-catalyzed hydroformylation" RECL. TRAV. CHIM. PAYS-BAS (1996), 115(11/12), 492-498 , XP000916636 ---	

Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 August 2000

Date of mailing of the international search report

12/09/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schwaller, J-M

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No	
PCT/EP 00/02610	

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 5710344	A 20-01-1998	CN 1236353	A	24-11-1999
		EP 0937022	A	25-08-1999
		WO 9819985	A	14-05-1998
WO 9616923	A 06-06-1996	AU 3937795	A	19-06-1996
		CN 1174545	A	25-02-1998
		EP 0793636	A	10-09-1997
		JP 10509973	T	29-09-1998
US 5874639	A 23-02-1999	US 5763679	A	09-06-1998
		CA 2230561	A	12-06-1997
		ZA 9610314	A	07-09-1998
US 5360938	A 01-11-1994	AT 133584	T	15-02-1996
		AU 2507792	A	16-03-1993
		BG 98488	A	28-02-1995
		BR 9206391	A	01-03-1995
		CA 2116098	A,C	04-03-1993
		CN 1071431	A,B	28-04-1993
		DE 69208093	D	14-03-1996
		DE 69208093	T	13-06-1996
		DK 600020	T	09-04-1996
		EP 0600020	A	08-06-1994
		ES 2085644	T	01-06-1996
		JP 2966094	B	25-10-1999
		JP 7502488	T	16-03-1995
		KR 136357	B	25-04-1998
		MX 9300660	A	31-01-1994
		OA 9887	A	15-09-1994
		PT 100797	A	29-10-1993
		WO 9303839	A	04-03-1993
		US 5491266	A	13-02-1996
		MX 9204825	A	01-02-1993
		ZA 9206289	A	03-03-1993

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP 00/02610

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 B01J31/18 C07C45/50

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 B01J C07C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 710 344 A (BURKE PATRICK M ET AL) 20. Januar 1998 (1998-01-20) ---	
A	WO 96 16923 A (DSM NV ;DU PONT (US); WISSING ELMO (NL); TEUNISSEN ANTONIUS JACOBUS) 6. Juni 1996 (1996-06-06) ---	
A	US 5 874 639 A (BRYANT DAVID ROBERT ET AL) 23. Februar 1999 (1999-02-23) ---	
A	US 5 360 938 A (BABIN JAMES E ET AL) 1. November 1994 (1994-11-01) ---	
A	VAN ROOY, ANNEMIEK ET AL: "Phosphoramidites: novel modifying ligands in rhodium-catalyzed hydroformylation" RECL. TRAV. CHIM. PAYS-BAS (1996), 115(11/12), 492-498, XP000916636 -----	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Aussichtung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- \*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- \*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
1. August 2000	12/09/2000
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl. Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Schwaller, J-M

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP 00/02610

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5710344	A 20-01-1998	CN 1236353	A 24-11-1999	
		EP 0937022	A 25-08-1999	
		WO 9819985	A 14-05-1998	
WO 9616923	A 06-06-1996	AU 3937795	A 19-06-1996	
		CN 1174545	A 25-02-1998	
		EP 0793636	A 10-09-1997	
		JP 10509973	T 29-09-1998	
US 5874639	A 23-02-1999	US 5763679	A 09-06-1998	
		CA 2230561	A 12-06-1997	
		ZA 9610314	A 07-09-1998	
US 5360938	A 01-11-1994	AT 133584	T 15-02-1996	
		AU 2507792	A 16-03-1993	
		BG 98488	A 28-02-1995	
		BR 9206391	A 01-03-1995	
		CA 2116098	A,C 04-03-1993	
		CN 1071431	A,B 28-04-1993	
		DE 69208093	D 14-03-1996	
		DE 69208093	T 13-06-1996	
		DK 600020	T 09-04-1996	
		EP 0600020	A 08-06-1994	
		ES 2085644	T 01-06-1996	
		JP 2966094	B 25-10-1999	
		JP 7502488	T 16-03-1995	
		KR 136357	B 25-04-1998	
		MX 9300660	A 31-01-1994	
		OA 9887	A 15-09-1994	
		PT 100797	A 29-10-1993	
		WO 9303839	A 04-03-1993	
		US 5491266	A 13-02-1996	
		MX 9204825	A 01-02-1993	
		ZA 9206289	A 03-03-1993	

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

### **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

**BLACK BORDERS**

**IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

**FADED TEXT OR DRAWING**

**BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

**SKEWED/SLANTED IMAGES**

**COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

**GRAY SCALE DOCUMENTS**

**LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

**REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

**OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)